



Minskning av CO₂-utsläpp i ett stockhus från början av 1900-talet

Henrik Björke

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Distribuerade energisystem
Identifikationsnummer:	
Författare:	Henrik Björke
Arbetets namn:	Minskning av CO ₂ -utsläpp i ett stockhus från början av 1900-talet
Handledare (Arcada):	Mikael Paronen
Uppdragsgivare:	
<p>Sammandrag:</p> <p>Globala uppvärmningen har lett till strängare bestämmelser gällande växthusgasutsläpp, energikonsumtion och användning av förnybara energikällor. Syftet med detta arbete är att undersöka sätt att minska energirelaterade växthusgasutsläpp, noggrannare sagt CO₂-utsläpp, i ett gammalt stockhus från början av 1900-talet. Arbetet skall hjälpa ägarna av målhuset att välja rätta åtgärder, för att minska på CO₂-utsläppen så mycket som möjligt.</p> <p>Målhuset har undersökts med värmekamera och U-värdesmätare, för att få en verklig-hetstrogen bild av husets nuvarande kondition och värmeförluster genom byggnadsdelar. Ägarna av huset har intervjuats för detaljer. På basen av undersökningar och beräkningar har gjorts lönsamhets- och återbetalningskalkyl för att visualisera påverkan av olika förbättringsförslag.</p> <p>Ägarna av huset hade vissa krav, t.ex. de hade bestämt att värmesystemet byts från oljevärme till bergvärme, fönster i nedre våningen skall bytas ut till en annan modell som är lite större och i samband med fönsterbyte skall beklädnadsskivorna på ytterväggar bytas ut till träpanel. Dessa punkter beaktades i kalkyler och eftersom det nya värmesystemet hade valts, gjordes inte kalkyler om lönsamhet för andra uppvärmningssystem.</p> <p>Undersökningen visar att byte till bergvärme har den absolut största inverkan på minskning av CO₂-utsläpp, medan de andra förbättringsåtgärderna endast påverkar utsläppen i liten grad. Eftersom fönster i nedre våningen och ytterytan av ytterväggar kommer att bytas ut i varje fall, lönar det sig att tilläggsisolera ytterväggar i samband med renoveringen. Bottenbjälklagets tilläggsisolering lönar sig också att göra i samband med renovering av rum i nedre våningen.</p>	
Nyckelord:	stockhus, CO ₂ -utsläpp, bergvärme, kostnader, lönsamhet, återbetalningstid
Sidantal:	47
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Distributed Energy Systems
Identification number:	
Author:	Henrik Björke
Title:	Reduction of CO ₂ -emissions in a log house from the beginning of the 1900s
Supervisor (Arcada):	Mikael Paronen
Commissioned by:	
<p>Abstract:</p> <p>Global warming has led to stricter regulations regarding greenhouse emissions, energy consumption and use of renewable energy sources. The goal in this writing is to investigate ways to decrease greenhouse emissions, more accurately CO₂-emissions, in an old log house from the beginning of the 1900s. The writing will help the owners of the target building to choose the right measures, to reduce the CO₂-emissions as much as possible.</p> <p>The target house has been examined with thermographic camera and R-value meter, to get a realistic view of the condition and of heat loss through building components. The owners of the house has been interviewed about details. Based on investigations and calculations profitability- and repayment calculations has been done to visualize impact of improvement suggestions.</p> <p>The house owners has some requirements, they have e.g. decided to change the heating system from oil heating to geothermal heating, windows in the bottom floor will be changed to an another model that is a little bit bigger and in conjunction with the changing of windows the lining plates on the outer wall will be changed to wood panels. These factors were incorporated in calculations and because the decision of the new heating system had been made, no profitability calculations of other heating systems were made.</p> <p>The research shows that change to geothermal heating has clearly the biggest impact on reduction of CO₂-emissions, while the other improvement suggestions only affect emissions in lesser extent. Because the windows on the bottom floor and the outer surface of the outer wall will be changed anyway, it is worthwhile to add insulation in the outer walls in conjunction with the renovation. The additional insulation in the ground slab is also worthwhile in conjunction with the renovation of the rooms on the bottom floor.</p>	
Keywords:	log house, CO ₂ -emissions, geothermal heating, costs, profitability, payback time
Number of pages:	47
Language:	Swedish
Date of acceptance:	

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Hajautetut energiajärjestelmät
Tunnistenumero:	
Tekijä:	Henrik Björke
Työn nimi:	CO ₂ -päästöjen vähentäminen 1900-luvun alussa rakennetussa hirsitalossa
Työn ohjaaja (Arcada):	Mikael Paronen
Toimeksiantaja:	
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Ilmaston lämpeneminen on johtanut kasvihuonekaasupäästöjä, energiankulutusta ja uusiutuvien energianlähteiden käyttöä tiukentaviin määräyksiin. Tämän työn tarkoituksena on tutkia tapoja vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, tarkemmin sanottuna CO₂-päästöjä, vanhassa hirsitalossa 1900-luvun alkupuolelta. Työn on tarkoitus helpottaa kohderakennuksen omistajia valitsemaan oikeita toimenpiteitä vähentääkseen CO₂-päästöjä mahdollisimman paljon.</p> <p>Kohderakennusta on tutkittu lämpökameralla ja U-arvomittarilla, jotta on saatu todennukainen käsitys rakennuksen tämänhetkisestä kunnosta ja rakennusosien lämpöhäviöistä. Talon omistajia on haastateltu yksityiskohdista. Tutkimusten ja laskelmien pohjalta on tehty kannattavuus- ja takaisinmaksulaskentoja erilaisten parannusehdotusten havainnollistamiseksi.</p> <p>Talon omistajilla oli tiettyjä vaatimuksia, he olivat esim. päättäneet, että lämmitysjärjestelmä muutetaan öljylämmityksestä maalämmöksi, alakerran ikkunat vaihdetaan erimalliseksi ikkunoiksi, jotka ovat hieman suurempia, ja ikkunanvaihdon yhteydessä ulkoseinien vuorilevyt vaihdetaan puupaneeliin. Nämä seikat huomioitiin laskuissa, ja koska uusi lämmitysjärjestelmä oli jo valittu, ei kannattavuuslaskelmia tehty muille lämmitysjärjestelmille.</p> <p>Tutkimus osoittaa, että maalämpöön siirtyminen vaikuttaa ylivoimaisesti eniten CO₂-päästöjen vähentymiseen, kun taas muut parannusehdotukset vaikuttavat päästöihin pienemmissä määrin. Koska alakerran ikkunat ja ulkoseinien ulkopinta tullaan vaihtamaan joka tapauksessa, kannattaa ulkoseinät lisäeristää saneerauksen yhteydessä. Alapohjan lisäeristys kannattaa myös tehdä alakerran huoneiden saneerauksen yhteydessä.</p>	
Avainsanat:	hirsitalo, CO ₂ -päästöt, maalämpö, kustannus, kannattavuus, takaisinmaksuaika
Sivumäärä:	47
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	

INNEHÅLL

1	INLEDNING	8
1.1	Bakgrund	8
1.2	Syfte	8
1.3	Avgränsning.....	9
1.4	Metoder för undersökningen	9
2	BESKRIVNING AV FASTIGHETEN	10
2.1	Renoveringshistoria.....	10
2.2	Uppvärmningssystem	11
2.3	Varmvatten och avlopp.....	11
2.4	Energiförbrukning	11
2.5	CO ₂ -utsläpp	12
3	NUVARANDE KONDITIONEN AV FASTIGHETEN	13
3.1	Värmeameraundersökning	13
3.2	Byggnadsdelars U-värden	14
3.2.1	Ytterväggar	14
3.2.2	Bottenbjälklag	16
3.2.3	Vindbjälklag	17
3.2.4	Fönster och dörrar	18
3.2.5	Jämförelse av U-värden	19
3.3	Värmeförluster genom byggnadsdelar	20
3.3.1	Ytterväggar	21
3.3.2	Bottenbjälklag	22
3.3.3	Vindbjälklag	23
3.3.4	Fönster och dörrar	23
3.3.5	Totala värmeförluster genom byggnadsdelar.....	24
4	FÖRBÄTTRING AV FASTIGHETEN	25
4.1	Värmesystem.....	25
4.2	Förbättring av byggnadsdelar.....	25
4.2.1	Ytterväggar	26
4.2.2	Bottenbjälklag	27
4.2.3	Vindbjälklag	28
4.2.4	Fönster och dörrar	28
4.3	Värmeförluster efter uppdaterade byggnadsdelar	28
4.3.1	Ytterväggar	28
4.3.2	Bottenbjälklag	29

4.3.3	Vindbjälklag	30
4.3.4	Fönster och dörrar	30
4.3.5	Totala värmeförluster genom byggnadsdelar.....	31
4.4	Ventilation	31
4.5	Elsystem	31
5	LÖNSAMHETS- OCH ÅTERBETALNINGSKALKYL.....	34
5.1	Kostnadskalkyl för förbättringsåtgärder.....	34
5.1.1	Värmesystem.....	34
5.1.2	Elsystem	34
5.1.3	Byggnadsdelar.....	35
5.2	Lönsamhetskalkyl	35
5.2.1	Värmesystem.....	35
5.2.2	Elsystem	36
5.2.3	Byggnadsdelar.....	36
5.3	Återbetalningskalkyl.....	37
5.3.1	Värmesystem.....	38
5.3.2	Elsystem	38
5.3.3	Byggnadsdelar.....	38
5.4	Sammanfattande analysering av kalkylen.....	39
5.4.1	Totala värmeförluster med tabellvärden för U-värden.....	39
6	SLUTSATS.....	41
	BILAGOR	43
	KÄLLOR.....	44

Figurer

Figur 1. Huset sett från gårdssidan.	10
Figur 2. Värmebild av golvet med större värmeförlust	13

Tabeller

Tabell 1. Jämförelse av U-värden.	19
Tabell 2. Lönsamhetskalkyl för byte av värmesystem.	35
Tabell 3. Lönsamhetskalkyl för installation av solpaneler.	36
Tabell 4. Lönsamhetskalkyl för byte eller uppdatering av byggnadsdelar.	37
Tabell 5. Återbetalningskalkyl för värmesystem.	38
Tabell 6. Återbetalningskalkyl för installation av solpaneler.	38
Tabell 7. Återbetalningskalkyl för uppdatering av byggnadsdelar.	39
Tabell 8. Jämförelse av värmeförluster mellan mätta och tabell U-värden.	39
Tabell 9. Tidtabell för förbättringsåtgärder.	41

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Globala uppvärmningen är ett akut problem som orsakas av ökad mängd växthusgaser i atmosfären. Förenta Nationerna ordnade år 1992 en konferens om miljö och utveckling, var grunden för Kyotoprotokollet år 1997 skapades. Kyotoprotokollet strävade till att globala utsläppen av växthusgaser skulle minskas (FN).

Efter Kyotoprotokollet har det ordnats flera klimatkonferenser, men först i Köpenhamn år 2009 lovade flera länder att minska på utsläpp av växthusgaser på olika sätt. För Europeiska Unionens del betydde detta, att det framställdes det så kallade 20-20-20-paketet, där de tre viktigaste målen för år 2020 är:

- minst 20 % förminskning av växthusgasutsläpp jämfört med nivåer år 1990
- 20 % förnybar energi av total energiförbrukning
- 20 % sänkning av energiförbrukning

Finland fick som mål att öka på andelen förnybar energi av total energiförbrukning till 38 % (Arbets- och näringsministeriet, 2015).

Arbets- och näringsministeriet satte som mål för Finland att minska på växthusgasutsläpp med 80-95 % till år 2050 jämfört med år 1990 nivåer (Arbets- och näringsministeriet, 2014).

1.2 Syfte

Syftet med detta ingenjörsarbete är att undersöka möjligheter att minska energibaserade växthusgasutsläpp i gamla egnahemshus. Växthusgaser som människan förorsakar är till en stor del CO₂-utsläpp (EPA United States Environmental Protection Agency). I Finland är av dessa utsläpp 33 % förorsakade av uppvärmning av byggnader och 18 % förorsakade av elkonsumtion av konsumenter (CO₂ - rapportti). Av denna orsak strävar detta arbete

efter att ge husägaren en guide för minskning av specifikt CO₂-utsläpp. Som mål är att minska CO₂-utsläppen med upp till 90 % under följande 30 år.

1.3 Avgränsning

I arbetet behandlas endast husets nedre och övre våning, eftersom värmeförluster från husets kalla källare inte påverkar helhetsresultatet. Värmeförluster till källaren från varma utrymmen har beaktats. Värmetillskott som orsakas av solsken, varmvattenanvändning, personer som vistas i huset och belysning har inte räknats ut, eftersom dessa kommer att hållas konstanta också efter möjliga renoveringsåtgärder.

1.4 Metoder för undersökningen

I arbetet undersöks huset med U-värdesmätare och värmekamera. Husägaren har intervjuats gällande observationer och detaljer om huset, och på basen av dessa har också beräkningar av U-värden gjorts. Med denna information har det gjorts kalkyler om lönsamhet samt återbetalningskostnader.

2 BESKRIVNING AV FASTIGHETEN

Fastigheten som undersöks är ett egnahemshus i Borgå. Det ursprungliga huset med stockstomme, tambur med trästomme, källare och kall vind är byggt år 1904 och bestod då av två skilda tvårumsbostäder med var sin ingång från gårdssidan. Idag har huset en bostadsyta på ca 190 m² på två plan och en kall källare på 30m². Huset bebos av två personer året runt och dess utrymmen samt varmvatten värms huvudsakligen upp med olja.



Figur 1. Huset sett från gårdssidan.

2.1 Renoveringshistoria

Det är oklart vad allt som har renoverats i huset upp till 1950-talet. Det första säkra som känns till är att det byggdes på 1950-talet en innetoalett. År 1978 gjordes det en större sanering åt huset där det bl.a. byggdes till ett badrum samt ett klädrum, fönster byttes ut till annorlunda modell, ytterväggarna fick nya beklädnadsskivor istället för den gamla panelen, köket fick en uppdatering, rummen fick nya tapeter och kakelugnen i vardagsrummet byttes ut till en större eldstad. År 1995 utfördes en ombyggnad av den kalla vinden i

sin helhet till bostadsutrymme med sovrum och icke värmda förvaringsrum. I början av 2000-talet gjordes en omfattande renovering åt köket och badrummet.

2.2 Uppvärmningssystem

Huset värms upp primärt med olja med en oljepanna som är tillverkad av Jämä. Brännaren är tillverkad av Oilon. Båda installerades i början av 1990-talet, då den gamla oljebrännaren måste bytas ut.

Som sekundärt uppvärmningssätt har huset eldstäder i tre rum i nedre våningen. Två av dem används speciellt på kalla vinterdagar, medan den tredje används ytterst sällan.

2.3 Varmvatten och avlopp

Varmvattnet i huset värms upp av oljepannan. Det är värt att nämna, att det huvudsakliga tvättutrymme samt bastu befinner sig i en skild byggnad på samma tomt. Varmvattnet i den skilda byggnaden värms upp av en varmvattenberedare som fungerar med el.

Värmen från avloppsvattnet tas inte till godo på något sätt. Eftersom avloppsvattnet från uthuset kommer genom ett oisolerat ca 30m långt plaströr förrän den ansluter sig till husets avloppssystem, har det inte setts tillräckligt lönsamt att ta tillvara denna värme heller.

2.4 Energiförbrukning

Husets oljeförbrukning är i medeltal 2070 liter lätt brännolja per år. Då en liter lätt brännolja har ett energiinnehåll på 10 kWh (Motiva, 2010 s. 2), kan den årliga energiförbrukningen för olja räknas ut:

$$2070 \text{ l} \times 10 \text{ kWh} = 20700 \text{ kWh/a}$$

Det sekundära värmesättet, dvs. eldstäderna, förbrukar årligen 1 m³ staplad ved. Då 1 m³ staplad ved av barr- och blandträ har ett energiinnehåll på 1300 kWh (Motiva, 2010 s. 2), kan den årliga energiförbrukningen i eldstäderna räknas ut:

$$1 \text{ m}^3 \times 1300 \text{ kWh} = 1300 \text{ kWh/a}$$

Den totala elkonsumtionen på årsnivå är 5800 kWh. Detta inkluderar elkonsumtionen för golvvärme och vattenberedaren i bastuutrymmet i uthuset. Uthusets elkonsumtion på årsnivå är ca 1500 kWh, vilket betyder att den årliga elkonsumtionen för huvudbyggnaden kan räknas ut:

$$5800 \text{ kWh} - 1500 \text{ kWh} = 4300 \text{ kWh/a}$$

Total energiförbrukning på årsnivå är:

$$20700 \text{ kWh} + 1300 \text{ kWh} + 4300 \text{ kWh} = 26300 \text{ kWh}$$

2.5 CO₂-utsläpp

För att få ett jämförelsevärde för CO₂-utsläppen räknas de nuvarande CO₂-utsläppen för byggnaden. CO₂-utsläppen för olja och el är 261 kgCO₂/MWh respektive 210 kgCO₂/MWh (Motiva, 2012 ss. 6-7). Trä anses vara CO₂-fritt vid förbränning, och räknas därför inte med.

$$\text{CO}_{2\text{olja}} = 20700 \text{ kWh} \times 0,261 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 5402,7 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{CO}_{2\text{el}} = 4300 \text{ kWh} \times 0,210 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 903 \text{ kg CO}_2$$

Totala mängden CO₂-utsläpp på årsnivå blir då:

$$\text{CO}_{2\text{TOT}} = 5402,7 \text{ kg CO}_2 + 903 \text{ kg CO}_2 = \mathbf{6305,7 \text{ kg CO}_2}$$

3 NUVARANDE KONDITIONEN AV FASTIGHETEN

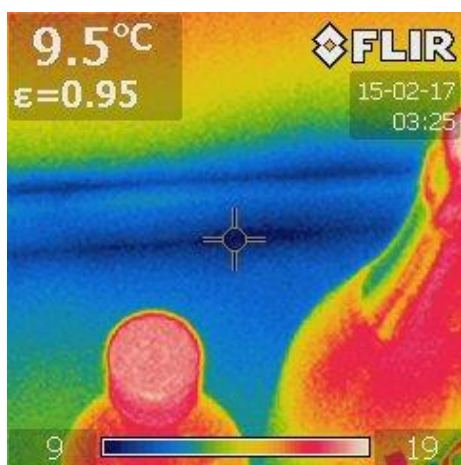
För att få en startpunkt för arbetet är det viktigt att veta exakt vad konditionen av byggnaden är idag. Eftersom dokumentation av byggnadsskedet samt eventuella renoveringar är mycket begränsade, är det nästan omöjligt att veta den nuvarande konditionen. Därför gjordes det både beräkningar och mätningar i byggnaden, för att få en så verklighetstrogen startpunkt som möjligt.

Beräkningarna baserades på husägarens observationer och renoveringar han gjort. Eftersom saneringarna som ägaren själv gjort är alla gjorda över 15 år sedan, var det vissa detaljer som glömts bort. I fallen där konstruktionerna var okända kunde inte beräkningar utföras.

Undersökningar gjordes bl.a. med värmekamera. Mätningar i byggnaden gjordes med U-värdesmätare som yrkeshögskolan Arcada har utvecklat. Mätningarna utfördes under 4 dagar i mars 2015 med 2-3 mätpunkter per konstruktion.

3.1 Värmekameraundersökning

Byggnadens konstruktioner undersöktes först med värmekamera. Det hittades små luftflöden från tätningar i dörrar och fönster, men inget signifikant. Däremot hittades det i arbetsrummets golv ett område på ca 1,5 m² där golvet var betydligt kallare än resten av golvet. Detta område mättes noggrannare med U-värdesmätare.



Figur 2. Värmekamerabild av golvet med större värmeförlust

3.2 Byggnadsdelars U-värden

U-värden för byggnadsdelar räknas enligt anvisningar i Finlands byggbestämmelsesamling del C4: Miljöministeriets förordning om värmeisolering (Miljöministeriet, 2002 s. 5):

$$U = \frac{1}{R_T}$$

där

R_T är byggnadsdelens totala värmemotstånd.

R_T räknas med formeln:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_m + R_g + R_b + R_{q1} + R_{q2} + \dots + R_{qn} + R_{se}$$

där

$$R_1 = d_1 / \lambda_1, R_2 = d_2 / \lambda_2 \dots R_m = d_m / \lambda_m$$

d_1, d_2, \dots, d_m tjockleken av materialskikt 1, 2, ... m

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ projekteringsvärde för värmekonduktivitet i materialskikt 1, 2, ... m,
t.ex. praktiskt tillämpbar värmekonduktivitet

R_g = värmemotstånd för luftskikt i byggnadsdel

R_b = värmemotstånd i marken

R_q = värmemotstånd för tunt materialskikt

$R_{si} + R_{se}$ summan av övergångsmotstånd på inner och yttersida

Projekteringsvärden fås ur tabellen i Finlands byggbestämmelsesamling del C4: Miljöministeriets förordning om värmeisolering (Miljöministeriet, 2002 ss. 10-15).

3.2.1 Ytterväggar

Det finns fyra olika ytterväggskonstruktioner i huset; stockvägg samt trävägg i nedre våningen och tjockare samt tunnare trävägg i övre våningen.

Väggkonstruktionen för stockväggen i nedre våningen från insidan utåt är (70,5 m²):

1. Tapet	1 mm
2. Spånskiva	12 mm
3. Bränskålning	22 mm
4. Stockvägg	160 mm
5. Skålning + glasull	50 mm
6. Vindskyddsskiva	13 mm
7. Bränskålning	22 mm
8. Beklädnadsskiva	5 mm

Det beräknade U-värdet för stockväggen är 0,29 W/(m²K).

Det mätta U-värdet med U-värdesmätaren är 0,4 W/(m²K).

Väggkonstruktionen för träväggen i nedre våningen från insidan utåt är (34,2 m²):

1. Tapet	1 mm
2. Gipsskiva	13 mm
3. Bränskålning	22 mm
4. Skålning + glasull	150 mm
5. Vindskyddsskiva	13 mm
6. Bränskålning	22 mm
7. Beklädnadsskiva	5 mm

Det beräknade U-värdet för träväggen är 0,23 W/(m²K).

Det mätta U-värdet med U-värdesmätaren är 0,45 W/(m²K).

Väggkonstruktionen för den tjockare träväggen i övre våningen från insidan utåt är (37 m²):

1. Tapet	1 mm
2. Gipsskiva	13 mm

3. Skålning + stenull	190 mm
4. Gammal panel	25 mm
5. Skålning + luft	50 mm
6. Löpande brädfodring	42 mm

Det beräknade U-värdet för träväggen är $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Det mätta U-värdet med U-värdesmätaren är $0,46 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Väggkonstruktionen för den tunnare träväggen i övre våningen från insidan utåt är (21,11 m^2):

1. Tapet	1 mm
2. Gipsskiva	13 mm
3. Skålning + stenull	170 mm
4. Vindskyddsskiva	13 mm
5. Brädsålning	13 mm
6. Löpande brädfodring	42 mm

Det beräknade U-värdet för träväggen är $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Det mätta U-värdet med U-värdesmätaren är $0,59 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

3.2.2 Bottenbjälklag

Det finns tre olika bottenbjälklagskonstruktioner i huset; betonggolv, golv med cellulosaisolering och golv med ursprunglig sand-sågspån-isolering. Betonggolvets noggranna konstruktion är okänt, vilket betyder att U-värde inte kan beräknas.

Betonggolvets mätta U-värde är $0,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (12,6 m^2).

Konstruktionen för golvet med cellulosaisolering inifrån utåt är (17 m^2):

1. Plastmatta	2 mm
2. Spånskiva	22 mm

- | | |
|----------------------------------|--------|
| 3. Skålning + cellulosaisolering | 100 mm |
| 4. Stock + cellulosaisolering | 160 mm |
| 5. Bräder | 21 mm |

Det beräknade U-värdet för golvet är $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Det mätta U-värdet med U-värdesmätaren är $0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ för yttre området, dvs. området inom 1 meter från ytterväggen. För inre området, dvs. området längre ifrån ytterväggen är värdet $0,27 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Orsaken till stora skillnaden i U-värde är att isoleringsmaterialet packades tätare närmare ytterväggen.

Det är osäkert hurdan konstruktion golvet med sand-sågspån-isolering har, men isoleringen är ungefär inifrån utåt ($68,4 \text{ m}^2$):

- | | |
|--------------------|--------|
| 1. Plastmatta | 2 mm |
| 2. Golvplanka | 32 mm |
| 3. Skålning | 100 mm |
| 4. Stock + sågspån | 40 mm |
| 5. Stock + sand | 120 mm |
| 6. Bräder | 21 mm |

Det beräknade U-värdet för golvet är $0,43 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Det mätta U-värdet med U-värdesmätaren är $0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ för golvet. I arbetsrummet var golvets U-värde $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ för området var golvet var kallare.

3.2.3 Vindbjälklag

Konstruktionen för vindbjälklaget är lite oklart, men den är inifrån utåt ungefär (150 m^2):

- | | |
|-----------------------|--------|
| 1. Gipsskiva | 13 mm |
| 2. Skålning + stenull | 50 mm |
| 3. Skålning + stenull | 150 mm |
| 4. Vindskyddsskiva | 13 mm |
| 5. Luftspalt | 50 mm |

6. Gammalt pärttak	40 mm
7. Gammalt filttak	3 mm
8. Gammalt filttak	3mm
9. Vartti skiva	10 mm

Det beräknade U-värdet för vindbjälklaget är $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Det mätta U-värdet med U-värdesmätaren är $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

3.2.4 Fönster och dörrar

Huset har två olika fönstertyper; alla nedre våningens fönster är likadana till konstruktionen jämfört med varandra och alla övre våningens fönster är likadana jämfört med varandra. Noggranna konstruktionen av övre våningens fönster är okänt, därför har beräkningar inte kunna utföras för dem.

Övre våningens fönsters mätta U-värde är $1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ($5,52 \text{ m}^2$) för de stora fönstren och $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ($0,48 \text{ m}^2$) för den mindre fönstren. Det är oklart vad detta beror på eftersom fönstren borde ha identiska fysikaliska egenskaper, men det antas att fönstren innehåller ett skikt med isoleringsgas, t.ex. Argon, vilken har läckt ut i de större fönstren.

Nedre våningens fönster har följande konstruktion inifrån utåt ($14,76 \text{ m}^2$):

1. Glas	3 mm
2. Luft	25mm
3. Glas	3 mm
4. Luft	48 mm
5. Glas	3 mm

Det beräknade U-värdet för fönstret är $1,76 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Det mätta U-värdet med U-värdesmätaren är $1,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Ytterdörrarnas konstruktion är okänd och därför har U-värden inte kunna beräknas, men de mätta U-värdet för ytterdörren i nedre våningen är $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ($2,1 \text{ m}^2$) och det mätta U-värdet för balkongdörren är $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ($1,89 \text{ m}^2$).

3.2.5 Jämförelse av U-värden

Som undersökningen visar är det stora skillnader mellan mätta och beräknade U-värden. En intressant poängtering är att U-värden som används då energicertifikat görs är tabellvärden. I Tabell 1 är en jämförelse av uppmätta, beräknade och tabellvärden för objekt-
huset.

Tabell 1. Jämförelse av U-värden.

	Uppmätt	Beräknad	Tabell (ympäristö.fi)
Yttervägg stock	0,4	0,29	0,7
Yttervägg trä	0,45	0,23	0,58
Yttervägg trä tjock	0,46	0,17	0,58
Yttervägg trä tunn	0,59	0,18	0,58
Golv med sand-sågspån-isolering	0,39	0,43	0,47
Betonggolv	0,38	-	0,52
Tak	0,14	0,16	0,41
Fönster nere	1,85	1,76	2,1
Fönster uppe	1,8	-	2,1

Ur tabellen kan det härledas att energicertifikat görs på ytterst vagt botten. I objekthuset skulle värmeförlusterna genom byggnadsdelar bli helt missvisande med beräknade eller tabellvärden för U-värdet. Av denna orsak räknas värmeförlusterna genom byggnadsdelar med de mätta U-värden. För demonstrationens skull räknas värmeförluster med tabellvärden i kapitel 5.2.1, för att se hur stor skillnad det är i värmeförlusterna.

3.3 Värmeförluster genom byggnadsdelar

Värmeförlusterna genom husets ytterväggar, bottenbjälklag, vindbjälklag, dörrar och fönster beräknas enligt anvisningar i Finlands byggbestämmelsesamling del D5: Beräkning av byggnaders energiförbrukning och effektbehov för uppvärmning (Miljöministeriet, 2012 s. 17):

$$Q = U \times A \times (T_s - T_u) \times \frac{\Delta t}{1000}$$

där

Q = ledningsförlust genom byggnadsdel, kWh

U = byggnadsdelens värmegenomgångskoefficient, W/(m²K)

A = byggnadsdelens area, m²

T_s = innetemperatur, K

T_u = utetemperatur, K

Δt = tidsintervall, h

1000 = koefficient för omvandling till kWh.

Värmeförlusterna i bottenbjälklaget med krypgrund räknades på samma sätt, med skillnaden att uträknade U -värdet tas gånger koefficienten 0,9 (Ympäristöministeriö, 2011 s. 20).

Det är värt att nämna att värmebehovet för byggnaden kunde beräknas mer specifikt med graddagtalmetoden. Såsom namnet säger används ett specifikt graddagtal, dvs. ett tal med vilken den uppmätta konsumtionen av uppvärmningsenergi i ett hus standardiseras (Meteorologiska Institutet). I metoden räknas värmeförlusten genom en byggnadsdel på följande sätt:

$$Q = U \times A \times G \times \frac{24}{1000}$$

där

Q = ledningsförlust genom byggnadsdel, kWh

U = byggnadsdelens värmegenomgångskoefficient, W/(m²K)

A = byggnadsdelens area, m^2

G = graddagtal

Som graddagtal används medeltalet för graddagtal under åren 2008-2014 på närmaste mätstället upprätthållet av Meteorologiska Institutet. Mätstället närmast Borgå ligger i Vanda (Meteorologiska Institutet).

Som exempel räknas värmeförluster genom väggar i kapitel 3.3.1, och resultaten för de olika metoderna jämförs i kapitel 3.3.5.

3.3.1 Ytterväggar

Först räknas värmeförluster enligt byggnadsbestämmelserna. Mätta U-värdet för stockväggen i nedre våningen är $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Stockväggens area är $70,5 \text{ m}^2$, vilket betyder att värmeförlusten på årsnivå är:

$$Q_{\text{stockvägg}} = 3878,40 \text{ kWh/a}$$

Mätta U-värdet för träväggen i nedre våningen är $0,45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Träväggens area är $34,2 \text{ m}^2$, vilket betyder att värmeförlusten på årsnivå är:

$$Q_{\text{trävägg, nere}} = 2116,62 \text{ kWh/a}$$

Mätta U-värdet för den tjockare träväggen i övre våningen är $0,46 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Träväggen är yttervägg för både varma rum och icke värmda förrådsrum. Medeltemperaturen i förrådsrummen är $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Arean för ytterväggen i de varma och kalla rummen är $21,2 \text{ m}^2$ respektive $15,8 \text{ m}^2$, vilket betyder att värmeförlusten på årsnivå är:

$$Q_{\text{tjock trävägg uppe, varm}} = 1341,21 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{tjock trävägg uppe, kall}} = 617,58 \text{ kWh/a}$$

Mätta U-värdet för den tunnare träväggen i övre våningen är $0,59 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Träväggen är yttervägg för både varma rum och icke värmda förrådsrum. Medeltemperaturen i förrådsrummen är $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Arean för ytterväggen i de varma och kalla rummen är $6,21 \text{ m}^2$ respektive $14,9 \text{ m}^2$, vilket betyder att värmeförlusten på årsnivå är:

$$Q_{tunn\ träv\ddot{a}gg\ uppe, varm} = 503,9 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{tunn\ träv\ddot{a}gg\ uppe, kall} = 746,99 \text{ kWh/a}$$

Totala värmeförluster i väggarna på årsnivå blir:

$$\begin{aligned} Q_{TOT, v\ddot{a}ggar} &= 3878,40 + 2116,62 + 1341,21 + 617,58 + 503,9 + 746,99 \\ &= 9204,7 \text{ kWh/a} \approx \mathbf{9200 \text{ kWh/a}} \end{aligned}$$

Med graddagtalmetoden blir sammanlagda värmeförlusterna genom väggar på årsnivå:

$$\begin{aligned} Q_{TOT, v\ddot{a}ggar} &= 1435,96 + 2631,19 + 909,91 + 678,14 + 341,86 + 820,24 \\ &= 6817,3 \text{ kWh/a} \approx \mathbf{6820 \text{ kWh/a}} \end{aligned}$$

3.3.2 Bottenbjälklag

Mätta U-värdet för betonggolv är $0,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Betonggolvs area är $12,6 \text{ m}^2$ vilket betyder att värmeförlusten på årsnivå blir:

$$Q_{betonggolv} = 448,79 \text{ kWh/a}$$

Mätta U-värdet för golv med cellulosa isolering är $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ för yttre området och $0,27 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ för inre området. Golvets area för yttre och inre fältet är 4 m^2 respektive 13 m^2 vilket betyder att värmeförlusten på årsnivå är:

$$Q_{cellulosa} = 488,93 \text{ kWh/a}$$

Mätta U-värdet för golv med sand-sågspån-isolering är $0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. I arbetsrummet var det mätta U-värdet $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ för området på $1,5 \text{ m}^2$ där golvet var betydligt kallare än resten av golvet. Golvisoleringen finns i rum med krypgrund och i rum där golvet är mellantak till källaren. Källarens medeltemperatur på årsnivå är $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Golvets area för rum med krypgrund är 17 m^2 , exklusive området med sämre U-värde. Golvets area mot källartaket är $49,9 \text{ m}^2$ vilket betyder att värmeförlusterna blir på årsnivå:

$$Q_{kryprumsgrund} = 950,62 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{mellantak} = 1875,26 \text{ kWh/a}$$

Totala värmeförluster i bottenbjälklaget blir då på årsnivå:

$$Q_{TOT,bottenbjälklag} = 448,79 + 488,93 + 950,62 + 1875,26 = 3763,6 \text{ kWh/a}$$

$$\approx \mathbf{3760 \text{ kWh/a}}$$

3.3.3 Vindbjälklag

Mätta U-värdet för taket är $0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Taket täcker både varma rum och icke värmda förrådsrum. Medeltemperaturen i förrådsrummen är 15°C . Arean för taket i de varma och kalla rummen är 100 m^2 respektive 50 m^2 , vilket betyder att värmeförlusten på årsnivå är:

$$Q_{tak,varm} = 1925,45 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{tak,kall} = 594,80 \text{ kWh/a}$$

Totala värmeförlusten i taket på årsnivå blir:

$$Q_{tak} = 2520,25 \text{ kWh/a} \approx \mathbf{2520 \text{ kWh/a}}$$

3.3.4 Fönster och dörrar

Mätta U-värdet för fönstren i nedre våningen är $1,85 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Totala arean på $14,76 \text{ m}^2$ betyder att värmeförlusten genom fönstren på årsnivå blir:

$$Q_{fönster,nere} = 3755,45 \text{ kWh/a}$$

Mätta U-värdet för fönstren i övre våningen är $1,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ för de större fönstren och $1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ för de mindre. Arean på de större fönstren och mindre fönstren är $5,52 \text{ m}^2$ respektive $0,48 \text{ m}^2$, vilket betyder att värmeförlusten genom fönstren på årsnivå blir:

$$Q_{fönster,uppe} = 1452,34 \text{ kWh/a}$$

Totala värmeförlusten genom fönster blir:

$$Q_{fönster} = 3755,45 + 1452,34 = 5207,79 \text{ kWh/a} \approx \mathbf{5210 \text{ kWh/a}}$$

Mätta U-värdet för ytterdörren i nedre våningen är $1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, vilket betyder att när arean för dörren är $2,1 \text{ m}^2$ blir värmeförlusterna genom dörren på årsnivå:

$$Q_{ytterdörr,nere} = 375,46 \text{ kWh/a}$$

Mätta U-värdet för balkongdörren är $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, vilket betyder att när arean för dörren är $1,89 \text{ m}^2$ blir värmeförlusterna på årsnivå:

$$Q_{balkongdörr} = 259,94 \text{ kWh/a}$$

Totala värmeförlusten genom dörrar blir:

$$Q_{dörr} = 375,46 + 259,94 = 635,4 \text{ kWh/a} \approx \mathbf{640 \text{ kWh/a}}$$

3.3.5 Totala värmeförluster genom byggnadsdelar

Då värmeförluster räknas enligt Finlands byggbestämmelsesamling blir den totala värmeförlusten genom byggnadsdelar på årsnivå:

$$Q_{TOT} = 9200 + 3760 + 2520 + 5210 + 640 = \mathbf{21330 \text{ kWh/a}}$$

Det är intressant att märka att värmeförlusterna genom byggnadsdelar skulle bli mycket mindre med graddagstalmetoden. Som exemplet i kapitel 3.3.1 visar är värmeförlusten genom husets väggar 26 % mindre när man räknar med graddagstalmetoden. Detta beror på att graddagstalmetoden tar bättre hänsyn till ortspecifika meteorologiska omständigheter. Byggnadsbestämmelsernas anvisningar borde därför specificeras för att få mera verklighetstroga värden i beräkningar.

Då värmeförluster genom byggnadsdelar på årsnivå är 21330 kWh och totala inputsenergin på årsnivå är 26300 kWh , blir det kvar 5170 kWh . Denna 5170 kWh går åt till att värma varmvattnet i byggnaden och till luftläckage i byggnadsdelar.

4 FÖRBÄTTRING AV FASTIGHETEN

För att minska på energirelaterade CO₂-utsläpp av huset så mycket som möjligt måste byggnadsdelar och apparatur förnyas eller uppdateras. Ägarna har redan bestämt sig hur de vill förbättra vissa delar i byggnaden, t.ex. vilket värmesystem de vill byta till och hur de vill uppdatera isolering i huset.

4.1 Värmesystem

Den viktigaste uppdateringen i huset är uppdateringen av värmesystem, eftersom oljevärme har mycket höga driftkostnader. Ägarna av huset har själva jämfört olika värmesystem och valt bergvärme.

Funktionsprincipen för bergvärme är att det borrar ett borrhål i marken, ca. 100-200 meter djupt beroende på värmebehovet, varifrån den i jorden lagrade solvärmen tas till vara med hjälp av en bergvärmepump. Bergvärmepumpens COP (=värmefaktor) är omkring 3, vilket betyder att värmeenergin som produceras är trefaldig jämfört med elenergin som bergvärmepumpen använder. Därför är en bergvärmepump ett mycket energieffektivt värmesystem (Motiva, 2012 s. 17).

Bergvärme kräver en stor investering, vilken kan variera mycket beroende på läge, markens egenskaper, husets storlek och mängden av tilläggsutrustning i systemet såsom vattenberedare. Driftkostnaderna är däremot mycket små och systemet kräver väldigt lite underhåll (Motiva, 2012 s. 17).

4.2 Förbättring av byggnadsdelar

Eftersom alla rum i nedre våningen exklusive köket och badrummet är mycket föråldrade, kommer dessa rum ett åt gången genomgå en omfattande renovering i nära framtid. Golven med sand-sågspån-isolering kommer att bytas ut till likadan cellulosa-isolering som i köket.

Väggytan på utsidan är också mycket slitet speciellt i nedre våningen, och måste därför förnyas så snart som möjligt. Ägarna av huset har bestämt sig att byta ut fönstren i nedre våningen till den ursprungliga modellen som fönstren var före 1978. I samma renovering kommer ytterväggarna att få tilläggsisolering.

Takytan är också i dåligt skick, och kommer också att bytas ut inom närmaste åren. Takets konstruktioner och isolering är i bra skick, och behöver därför inte bytas.

4.2.1 Ytterväggar

En stor del av värmeförlusterna kan minimeras med tilläggsisolering i väggarna i både nedre och övre våningen. I båda våningarna kommer det att läggas till en 50 mm stenullsisolering på yttersidan. Detta kommer att göras i samband med renoveringen då beklädnadsskivorna byts till träpanel på yttersidan och fönstren byts ut till en annorlunda modell. De nya fönstren som kommer till stockstommen är lite större än de gamla, vilket ändrar arean på ytterväggen och fönstren.

De kommande U-värden har beräknats med att ta det mätta U-värdet och räkna enligt anvisningar i Finlands byggbestämmelsesamling del C4: Miljöministeriets förordning om värmeisolering (Miljöministeriet, 2002):

$$U = \frac{1}{R_T}$$

På basen av denna formel kan formeln för det nya U-värdet härledas:

$$U_{ny} = \frac{1}{\frac{1}{U_{gammal}} + R_{tillaggsisolering}}$$

Resistansen för tilläggsisoleringen med skålning blir:

$$R_{tillaggsisolering,uppe} = \frac{0,05 \text{ m}}{0,032 \text{ W/(m} \times \text{K)}} = 1,271 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Det gamla U-värdet för stockväggen är 0,4 W/(m²K), vilket betyder blir det nya U-värdet:

$$U_{stockvägg} = 0,27 \frac{W}{m^2K}$$

Det gamla U-värdet för träväggen i nedre våningen är 0,45 W/(m²K), vilket betyder att det nya U-värdet blir:

$$U_{trävägg,nere} = 0,29 \frac{W}{m^2K}$$

Det gamla U-värdet för den tjockare träväggen i övre våningen är 0,46 W/(m²K), vilket betyder att det nya U-värdet blir:

$$U_{tjock\ trävägg,uppe} = 0,29 \frac{W}{m^2K}$$

Det gamla U-värdet för den tunnare träväggen i övre våningen är 0,59 W/(m²K), vilket betyder att det nya U-värdet blir:

$$U_{tunn\ trävägg,uppe} = 0,34 \frac{W}{m^2K}$$

4.2.2 Bottenbjälklag

Golven med betonggolv kommer inte att renoveras inom snar framtid p.g.a. att badrummet är nyligen renoverat och klädrummet har inget akut behov av renovering.

Alla golv med sand-sågspån-isolering kommer däremot att bytas ut. Golven byts ut till likadant som i köket, vilket betyder att det mätta U-värden ur köket kan användas:

$$U_{cellulosa,yttre} = 0,11 \frac{W}{m^2K}$$

$$U_{cellulosa,inre} = 0,27 \frac{W}{m^2K}$$

4.2.3 Vindbjälklag

Isoleringen i taket och därmed takets U-värde är mycket bra, därför kommer det inte att läggas tilläggsisolering i taket. Takytan måste bytas inom snar framtid, men detta påverkar inte U-värdet.

4.2.4 Fönster och dörrar

Alla fönster i nedre våningen byts ut till en annorlunda modell. Eftersom fönstren i övre våningen har ett dåligt U-värde, kommer det att beräknas att också dessa byts ut mot nya. De nya fönstren kommer att vara Domus A1 fönster som går att öppna och har ett U-värde på $0,99 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Domus).

Den föråldrade ytterdörren i nedre våningen byts ut mot en ny. Dörren byts till en Kaski UO01 med ett U-värde på $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Kaski). Balkongdörren i övre våningen kommer inte att bytas ut, eftersom dörren har liten värmeförlust.

4.3 Värmeförluster efter uppdaterade byggnadsdelar

Till nästa räknas totala värmeförlusterna genom alla byggnadsdelar efter renovering.

4.3.1 Ytterväggar

Stockväggen i nedre våningen kommer att ha ett U-värde på $0,27 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Stockväggens area är $69,4 \text{ m}^2$ vilket betyder att värmeförlusten på årsnivå är:

$$Q_{\text{stockvägg}} = 2577,07 \text{ kWh/a}$$

Träväggen i nedre våningen kommer att ha ett U-värde på $0,29 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Träväggens area är $34,2 \text{ m}^2$ vilket betyder att värmeförlusten på årsnivå är:

$$Q_{\text{trävägg,nere}} = 1364,04 \text{ kWh/a}$$

U-värdet för den tjockare träväggen i övre våningen kommer att vara $0,29 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Träväggen är yttervägg för både varma rum och icke värmda förrådsrum. Medeltemperaturen

i förrådsrummen är 15 °C. Arealen för ytterväggen i de varma och kalla rummen är 21,2 m² respektive 15,8 m², vilket betyder att värmeförlusten på årsnivå är:

$$Q_{tjock\ träv\ddot{a}gg\ uppe, varm} = 845,55 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{tjock\ träv\ddot{a}gg\ uppe, kall} = 389,34 \text{ kWh/a}$$

U-värdet för den tunnare träväggen i övre våningen kommer att vara 0,34 W/(m²K). Träväggen är yttervägg för både varma rum och icke värmda förrådsrum. Medeltemperaturen i förrådsrummen är 15 °C. Arealen för ytterväggen i de varma och kalla rummen är 6,21 m² respektive 14,9 m², vilket betyder att värmeförlusten på årsnivå är:

$$Q_{tunn\ träv\ddot{a}gg\ uppe, varm} = 290,39 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{tunn\ träv\ddot{a}gg\ uppe, kall} = 430,47 \text{ kWh/a}$$

Totala värmeförluster i väggarna på årsnivå blir:

$$\begin{aligned} Q_{TOT, v\ddot{a}ggar} &= 2577,07 + 1364,04 + 845,55 + 389,34 + 290,39 + 430,47 \\ &= 5896,86 \text{ kWh/a} \approx \mathbf{5900 \text{ kWh/a}} \end{aligned}$$

4.3.2 Bottenbjälklag

Värmeförlusten genom betonggolv kommer att vara samma som förut, dvs.:

$$Q_{betonggolv} = 448,79 \text{ kWh/a}$$

Mätta U-värdet för golv med cellulosa isolering är 0,11 W/(m²K) för yttre området och 0,27 W/(m²K) för inre området. Golvisoleringen kommer att finnas i rum med krypgrund och i rum där golvet är mellantak till källaren. Golvets area för rum med krypgrund är 11,7 m² för yttre området och 23,8 m² för inre området. Då kan kommande värmeförlusterna på årsnivå beräknas:

$$Q_{cellulosa, krypgrund} = 954,71 \text{ kWh/a}$$

Golvets area mot källartaket för yttre och inre fältet är 14,5 m² respektive 35,4 m² och medeltemperaturen i källaren är 10 °C på årsnivå, vilket betyder att värmeförlusten på årsnivå kommer att vara:

$$Q_{cellulosa, k\ddot{a}llartak} = 1074,70 \text{ kWh/a}$$

Totala värmeförluster i bottenbjälklaget efter renovering kommer att vara:

$$Q_{TOT,bottenbjälklag} = 448,79 + 954,71 + 1074,7 = 2478,2 \text{ kWh/a} \approx \mathbf{2480 \text{ kWh/a}}$$

4.3.3 Vindbjälklag

Vindbjälklagets isolering kommer att hållas oförändrad, dvs. värmeförlusterna genom vindbjälklaget kommer att vara på årsnivå:

$$Q_{tak} = 2520,25 \text{ kWh/a} \approx \mathbf{2520 \text{ kWh/a}}$$

4.3.4 Fönster och dörrar

Alla fönster i huset kommer att bytas ut till fönster med ett U-värde på 0,99 W/(m²K). Totala fönsterarean i nedre våningen kommer att vara 15,86 m² efter renoveringen, vilket betyder att värmeförlusten genom fönstren på årsnivå blir:

$$Q_{fönster,nere} = 2159,44 \text{ kWh/a}$$

Arean på fönstren i övre våningen kommer att vara 6 m², vilket betyder att värmeförlusten genom fönstren på årsnivå blir:

$$Q_{fönster,uppe} = 816,94 \text{ kWh/a}$$

Totala värmeförlusten genom fönster blir:

$$Q_{fönster} = 2159,44 + 816,94 = 2976,39 \text{ kWh/a} \approx \mathbf{2980 \text{ kWh/a}}$$

Ytterdörren i nedre våningen kommer att bytas ut till en dörr med U-värdet 1,0 W/(m²K), vilket betyder att när arean för dörren är 2,1 m² blir värmeförlusterna genom dörren på årsnivå:

$$Q_{ytterdörr,nere} = 288,82 \text{ kWh/a}$$

Balkongdörren kommer inte att bytas ut, dvs. värmeförlusten hålls oförändrad:

$$Q_{balkongdörr} = 259,94 \text{ kWh/a}$$

Totala värmeförlusten genom dörrar blir:

$$Q_{dörr} = 288,82 + 259,94 = 548,75 \text{ kWh/a} \approx \mathbf{550 \text{ kWh/a}}$$

4.3.5 Totala värmeförluster genom byggnadsdelar

Den totala värmeförlusten genom byggnadsdelar blir på årsnivå:

$$Q_{TOT} = 5900 + 2480 + 2520 + 2980 + 550 = \mathbf{14430 \text{ kWh/a}}$$

4.4 Ventilation

I huset finns ingen maskinell ventilation. Om huset tilläggsisolerats och fönstren samt dörrar byts till nya, vore det rekommenderat att installera en maskinell ventilation för att försäkra tillräcklig lufttillförsel. Maskinell ventilation skulle också förbättra inomhusklimat och komforten i huset genom att ta bort föroreningar och fukt från luften.

Om ett ventilationsaggregat skulle köpas till huset, kunde den installeras i ett av de icke värmda förrådsrummen i övre våningen. Kanalerna kunde föras till alla rum i mellangolvet, där det enligt ägaren kunde arrangeras rum för dem.

Eftersom ägaren inte har intresse för installering av maskinell ventilation, har inga noggrannare beräkningar eller planer gjorts om den.

4.5 Elsystem

I samband med takremonten finns det en möjlighet att installera solpaneler på taket, för att täcka en del eller t.o.m. hela elkonsumtionen av elapparater i huset. Takarean som lämpas till ändamålet, dvs. takarean som riktar sig i huvudsak mot söder där solpanelerna fungerar mest effektivt och var det inte finns yttre objekt såsom träd som skuggar taket, är ungefär 45 m^2 . Den ungefärliga effekten som kan uppnås med att installera solpaneler på taket kan beräknas enligt Miljöministeriets anvisningar i Finlands byggbestämmelsesamling del D5: Beräkning av byggnaders energiförbrukning och effektbehov för uppvärmning (Miljöministeriet, 2012):

$$W_{pv} = \frac{G_{aur} \times P_{maks} \times F_{k\ddot{a}ytt\ddot{o}}}{I_{ref}}$$

där

W_{pv} = elenergi som alstras av solceller per år, kWh

G_{aur} = solstrålningsenergi som träffar solcellerna under ett år, kWh/m²

P_{maks} = solcellernas maximala produktionskapacitet i en referensstrålningssituation (I_{ref} = 1 kW/m², referenstemperatur 25 °C), kW

$F_{k\ddot{a}ytt\ddot{o}}$ = funktionsfaktor som beaktar användningsomständigheter, -

I_{ref} = referensstrålningssituation, 1 kW/m².

Mängden solstrålning som träffar solcellerna under ett år beräknas med hjälp av formeln:

$$G_{aur} = G_{aur,hor} \times F_{asento}$$

där

G_{aur} = solstrålningsenergi som träffar solcellerna under ett år, kWh/m²

$G_{aur, hor}$ = total solstrålningsenergi per år som träffar ett horisontellt plan, D3 bilaga 2, kWh/m²

F_{asento} = korrigeringskoefficient för väderstreck och lutning, -.

Solcellernas maximala produktionskapacitet P_{maks} beräknas med hjälp av formeln:

$$P_{maks} = K_{maks} \times A_{kenno}$$

där

P_{maks} = solcellernas maximala produktionskapacitet i en referensstrålningssituation (I_{ref} = 1 kW/m², referenstemperatur 25 °C), kW

K_{maks} = toppkapacitetskoefficient som är beroende av typen av solcell, (tabell 10.3), kW/m²

A_{kenno} = solcellens area (utan ram), m².

Korrigeringskoefficienten för väderstreck och lutning F_{asento} beräknas enligt formeln:

$$F_{asento} = F_1 \times F_2$$

där

F_{asento} = korrigeringskoefficient för väderstreck och lutning, -

F_1 = koefficient för väderstreck, -

F_2 = koefficient för lutning (vinkel), -

Koefficienter för taket som vi behöver i beräkningen blir:

$$F_{asento} = 1$$

$$P_{maks} = 6,3 \text{ kW}$$

$$G_{aur} = 975 \text{ kWh/m}^2$$

Då blir elenergin W_{pv} för taket på årsnivå:

$$W_{pv} = \frac{975 \times 6,3 \times 0,75}{1} = 4606,88 \text{ kWh/a} \approx \mathbf{4600 \text{ kWh/a}}$$

I beräkningarna tas inte i beaktande möjliga förluster i elledningar eller förluster som beror på förvaring. Eftersom solpanelerna i bästa fall producerar mera el än vad behovet i huset är, går denna elenergi inte till spillo då det nya värmesystemet och ute byggnadens elbehov inte har beaktats i totala elbehovet.

5 LÖNSAMHETS- OCH ÅTERBETALNINGSKALKYL

För att undersöka vilka åtgärder är mest effektiva för att minska CO₂-utsläpp, görs det en lönsamhetskalkyl. Kostnaderna för byte eller uppdatering av byggnadsdelar innehåller inte arbetskostnader av två orsaker; ägaren har tänkt göra åtgärden själv och även om en utomstående timmerman skulle delta, vore det svårt att uppskatta arbetstimmarna för denna.

Det görs också återbetalningskalkyl för att se hur mycket pengar sparas in på en amorteringstid på 30 år.

5.1 Kostnadskalkyl för förbättringsåtgärder

För att kunna beräkna lönsamhets- och återbetalningskalkyl måste priset på alla förbättringsåtgärder vara kända.

5.1.1 Värmesystem

Kostnader för hela bergvärmesystemet installerat och färdigt för bruk har fått från företaget Tomallen (Allen, 2015). Det finns två olika fall; ett där endast värmesystemet byts och ett där värmesystemet byts med alla planerade förbättringsåtgärder. Priset för bergvärme med den större effekten är 16450 €. Priset för bergvärmen med den mindre effekten är 15850 €.

5.1.2 Elsystem

Eftersom solpanelerna installeras i samband med takytans renovering, är kostnaderna för solpanelerna endast 70€/m² (Otto). Då panelerna har en total area på 45 m², blir kostnaderna för panelerna:

$$Kostnad_{solpaneler} = 70 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \times 45 \text{m}^2 = 3150 \text{€}$$

5.1.3 Byggnadsdelar

Ytterväggar isoleras med 50mm stenull. Då priset före 50mm stenull är 4,52€/m² (taloon.com) och totala arean för ytterväggar är ungefär 161 m², blir priset för tilläggsisolering:

$$4,52 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \times 161 \text{m}^2 = 727,72 \text{€}$$

Bottenbjälklagen med sand-sågspån-isolering får cellulosaisolering. Cellulosaisolering som man blåser själv kostar 17,90€/säck (taloon.com), och det går åt tre säckar per kubikmeter. Då isoleringslagret har en volym på 11 m³ blir priset på uppdatering av bottenbjälklaget:

$$17,90 \text{€} \times 3 \times 11 \text{m}^3 = 590,7 \text{€}$$

Ägarna har fått en offert för fönstren och ytterdörren. Förnyande av alla fönster skulle kosta 10 000€ och förnyade av ytterdörren skulle kosta 500 €.

5.2 Lönsamhetskalkyl

5.2.1 Värmesystem

Tabell 2. Lönsamhetskalkyl för byte av värmesystem.

	Inputenergi olja, kWh/a	Inputenergi värmepump, kWh/a	CO ₂ före, kgCO ₂	CO ₂ efter, kgCO ₂	ΔCO ₂ , kgCO ₂	% minskning ur total före	Kostnad, €	€/kgCO ₂
Utan andra åtgärder	20700	6900	5402,7	1380	4022,7	63,79 %	16450	4,09
Med andra åtgärder	13850	4616,67	5402,7	923,3333	4479,367	71,04 %	27668,42	6,18

Inputenergi för bergvärmepumpen har räknats med en värmepump med värmefaktor 3. Som det kan ses från tabellen kostar bergvärmesystemet 16450 € då det inte görs andra förbättringsåtgärder. Summan för värmesystemet med mindre effektbehov innehåller kostnader för de planerade förbättringsåtgärden och bergvärmens andel är då 15850 €.

Detta betyder att det är kostnadsmässigt ytterst olönsamt att göra de andra förbättringsåtgärden, eftersom bergvärmesystemets pris endast sjunker med 600€ även om alla andra åtgärder görs.

Från resultaten i Tabell 2 kan det också ses att bytet av värmesystem från oljevärme till bergvärme har en mycket stor roll i minskning av CO₂-utsläpp jämfört med alla förbättringsåtgärder. Förbättringsåtgärdens enskilda påverkan på CO₂-utsläpp behandlas noggrannare i kapitel 5.1.3.

5.2.2 Elsystem

I Tabell 3 finns lönsamhetskalkyl för installation av solpaneler:

Tabell 3. Lönsamhetskalkyl för installation av solpaneler.

Elbehov, kWh/a	El från solpanel	CO ₂ före, kgCO ₂	CO ₂ efter, kgCO ₂	ΔCO ₂ , kgCO ₂	% minskning ur total före	Kostnad, €	€/kgCO ₂
4500	4600	860	0	860	13,64 %	3150	3,66

Som kalkylen visar minskar CO₂-utsläpp med hela 13,64 % då elbehovet kan täckas med solpanelernas producerade elenergi. Detta i samband med det låga priset på panelerna gör solpanelerna till ett mycket kostnadseffektivt sätt att minska på CO₂-utsläpp. Det vore också möjligt att använda en större area av taket för solpaneler om en del av elkonsumtionen för bergvärmepumpen ville täckas.

5.2.3 Byggnadsdelar

I Tabell 4 finns en lönsamhetskalkyl för uppdatering eller byte av byggnadsdelar mera detaljerat:

Tabell 4. Lönsamhetskalkyl för byte eller uppdatering av byggnadsdelar.

	ΔQ_{tot} , kWh/a	CO ₂ före, kgCO ₂	CO ₂ efter, kgCO ₂	ΔCO_2 , kgCO ₂	% minskning ur total före	Kostnad, €	€/kgCO ₂
Ytterväggar	3300	613,33	393,33	220,00	3,49 %	727,72	3,31
Bottenbjälklag	1230	240,00	158,00	82,00	1,30 %	590,7	7,20
Fönster	2230	347,33	198,67	148,67	2,36 %	10000	67,26
Dörrar	90	42,67	36,67	6,00	0,10 %	500	83,33

Som det nämndes i kapitel 5.1.1 har byggnadsdelarnas uppdatering eller byte en ytterst liten inverkan på CO₂-utsläpp. Eftersom fönstren i nedre våningen skall bytas till en annan storlek och beklädnadsskivorna på yttersidan skall bytas till träpanel, lönar det sig att tilläggsisolera väggen med 50mm isolering eftersom detta inte förorsakar mycket tilläggs-kostnader i form av material eller arbete.

Ny isolering i bottenbjälklaget har en liten inverkan på CO₂-utsläpp, men eftersom rummen som isoleringen kommer till ändå kommer att genomgå en omfattande renovering där golven kommer att öppnas, lönar det sig på samma gång att byta ut isoleringen.

Ytterdörrsbyte och byte av fönstren i övre våningen är inte lönsamma att göra. Värmeförlusterna genom dessa är så små jämfört med vad byte skulle kosta, att det helt enkelt inte är lönsamt.

5.3 Återbetalningskalkyl

I återbetalningskalkylen har räknats ut hur mycket det kostar att spara in 1 kWh värmee-nergi med de planerade förbättringsåtgärden under en amorteringstid på 30 år.

För värme- och elsystem har det räknats ut vad 1 kWh värme- eller elenergi kostar under en amorteringstid på 30 år.

5.3.1 Värmesystem

Tabell 5. Återbetalningskalkyl för värmesystem.

	Värmebehov, kWh/a	Värmebehov 30 år, kWh	Kostnad, €	€/kWh
Utan andra åtgärder	20070	602100	26450	0,04393
Med andra åtgärder	13850	415500	25850	0,06221

I kostnader har beaktats att värmepumpens kompressor samt andra delar som måste bytas ut p.g.a. slitage för att systemet skall fungera i 30 år kostar 10 000 € (Allen, 2015). Efter 30 år måste bergvärmesystemet förnyas i större grad.

Som tabellen visar är det lönsammare att byta ut värmesystem utan andra åtgärder än att byta ut värmesystemet efter att andra förbättringsåtgärder har gjorts.

5.3.2 Elsystem

Tabell 6. Återbetalningskalkyl för installation av solpaneler.

El från solpanel kWh/a	El från panel 30 år	Kostnad, €	€/kWh
4600	138000	3150	0,02283

Elenergin blir mycket billig att tillverka med solpaneler. Detta betyder att det lönar sig att montera solpaneler på taket i samband med takremonten.

5.3.3 Byggnadsdelar

Tabell 7. Återbetalningskalkyl för uppdatering av byggnadsdelar.

	ΔQ_{tot} , kWh/a	ΔQ_{tot} under 30 år, kWh	Kostnad, €	€/kWh
Ytterväggar	3300	99000	727,72	0,0074
Bottenbjälklag	1230	36900	590,7	0,0160
Fönster	2230	66900	10000	0,1495
Dörrar	90	2700	500	0,1852

Som det kan ses från Tabell 7 är det mycket billigt att spara in kostnaderna för tilläggsisolering av ytterväggar samt bottenbjälklag, speciellt då dessa byggnadsdelar kommer i varje fall att renoveras. Fönster och dörrar lånar sig att byta endast om de måste bytas.

5.4 Sammanfattande analysering av kalkylen

Den totala procentuella minskningen av CO₂-utsläpp fås med att analysera värden i tabellerna. I fallet där endast värmesystemet byts ut är minskningen av CO₂-utsläpp 63,79 %. I det andra fallet där värmesystemet byts och alla nämnda förbättringsåtgärder görs blir totala minskningen av CO₂-utsläpp 84,68 %.

Fastän målet på 90 % minskning av CO₂-utsläpp inte uppnås med alla nämnda förbättringsåtgärder, finns det sätt att ytterligare minska på utsläppen. Som exempel kan nämnas minskning av innetemperatur, ändring av levnadsvanor, installation av radiatorfilmer och installation av solskärmar i fönstren.

5.4.1 Totala värmeförluster med tabellvärden för U-värden

I Tabell 8 finns jämförelse av de U-värden. Tabellen innehåller inte värmeförluster för byggnadsdelar, vilkas U-värden det inte fanns ett tabellvärde för.

Tabell 8. Jämförelse av värmeförluster mellan mätta och tabell U-värden.

	Q mätad, kWh/a	Q tabell, kWh/a	Skillnad
Stockvägg nere	3878,4	6787,2	42,86 %
Trävägg nere	2116,62	2728,08	22,41 %
Trävägg tjock uppe, varm	1341,21	1691,09	20,69 %
Trävägg tjock uppe, kall	617,58	778,68	20,69 %
Trävägg tunn uppe, varm	503,9	495,36	-1,72 %
Trävägg tunn uppe, kall	746,99	734,33	-1,72 %
Betonggolv	448,79	614,13	26,92 %
Sand-sågspån krypgrund	950,62	1076,26	11,67 %
Sand-sågspån mellantak	1875,26	2259,93	17,02 %
Tak, varm	1925,45	5638,81	65,85 %
Tak, kall	594,8	1741,93	65,85 %
Fönster, nere	3755,45	4262,94	11,90 %
Fönster, uppe	1452,34	1732,9	16,19 %
TOTALT	20207,41	30541,64	33,84 %

Såsom det kan ses från tabellen är skillnaden i värmeförluster i vissa fall mycket stor. Endast med tunna träväggar uppe är värmeförlusterna litet mindre med tabellvärden, i alla andra fall är de mätta värmeförlusterna större. Detta betyder att eftersom energibevis beräknas med tabellvärden, bevisar tabellen att energicertifikat beräknas på ytterst vagt boten. För att energicertifikat skulle vara mer verklighetstroga borde detta göras på basen av mätta U-värden istället för tabellvärden.

I målhuset skulle värmeförlusterna vara 33,8 % lägre i verkligheten än vad de skulle vara med tabellvärden för U-värden. Från detta kan det härledas att ett energicertifikat för målhuset sinte skulle stämma med verkligheten.

6 SLUTSATS

Problemet med hus av denna ålder är att konditionen är omöjlig att veta utan noggranna undersökningar. Konditionen av byggnadsdelar i huset i denna undersökning är sämre än det trots. En intressant upptäckt är att U-värden som används då energicertifikat görs för byggnader görs på basen av tabellvärden, vilka i detta fall inte alltid skulle ha gett rätta värden. En upptäckt är också att miljöministeriets byggbestämmelser borde preciseras för att få mera verklighetstroga värden för t.ex. värmeförluster i byggnader.

På basen av undersökningen skall husägaren göra följande åtgärder:

- Byte av nedervåningens fönster och tilläggsisolering av ytterväggar i samband med byte av beklädandsskivorna till panel på yttersidan
- Byte av takets yta, där takets area ökar lite p.g.a. tilläggsisoleringen på yttre sidan. På samma gång installeras också solpanelerna.
- Sanering av rummen i nedre våningen som får nya golv. I denna renovering är det rekommenderat att installera också maskinell ventilation.
- Byte av värmesystem från oljevärme till bergvärme.

Eftersom värmesystemets byte till bergvärme påverkar överlägset mest på minskningen av CO₂-utsläpp, är bytet den viktigaste åtgärden som ägaren av huset borde göra. Kostnadmässigt sett har det inte heller någon skillnad att anskaffas värmesystemet först eller till sist p.g.a. att priset är nästan det samma i båda fallen.

Tabell 9. Tidtabell för förbättringsåtgärder.

Åtgärd	Tidpunkt	kWh/a	E, kWh/m ²
Ursprungsläge		26300	138,42
50 mm tilläggsisolering i väggar, panel på yttersidan, nya fönster nere	2015	21400	112,63
Byte av takets yta, installation av solpaneler	2016	16800	88,42
Sanering av rum på nedre våningen, möjligtvis installation av maskinell ventilation	2016-2017	15570	81,95
Byte av värmesystem till bergvärme	2017	5190	27,32

I tabellen finns en tidtabell för förbättringsåtgärden. Det har också räknats ut hur mycket energi det krävs för uppvärmning efter varje åtgärd. Vid byte av värmesystem har det räknats med att bergvärmepumpen har COP 3, och därför blir slutliga kWh/m² litet.

Målet att minska CO₂-utsläpp med 90 % är i praktiken möjligt, men det vore inte ekonomiskt lönsamt. Som exempel kan nämnas byte av fönster i övre våningen eller byte av ytterdörr som nog minskar på värmebehov och därmed minskar på utsläpp, men återbetalningstiden för investeringen skulle vara för lång.

BILAGOR

Bilaga 1	Bottenplan av husets nedre våning.
Bilaga 2	Bottenplan av husets övre våning.

KÄLLOR

Allen, Tom. (23.4.2015). *VD, Tomallen.* Intervjuad av Henrik Björke.

Arbets- och näringsministeriet. 2014. Energia- ja ilmastotiekartta 2050. Tillgänglig: https://www.tem.fi/files/42599/Energia-_ja_ilmastotiekartta_2050.pdf Hämtad 4.5.2015.

Arbets- och näringsministeriet. 2015. EU:n energiayhteistyö. Tillgänglig: <http://www.tem.fi/index.phtml?s=1553> Hämtad 19.4.2015.

CO2 - raportti. Tietoa ilmastonmuutoksesta. Tillgänglig: <http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastonmuutos> Hämtad 19.4.2015

Domus. Domus A1-ikkuna Tillgänglig: <http://www.domus.fi/ikkunat-ja-ovet/ikkunat/domus-ikkuna> Hämtad 21.4.2015

EPA United States Environmental Protection Agency. Overview of Greenhouse Gases. Tillgänglig: <http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/co2.html> Hämtad 19.4.2015

FN. UNFCC, Kyoto Protocol. Tillgänglig: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php Hämtad: 19.4.2015

Kaski. Suoritustasoilmoitus Tillgänglig: <http://www.kaskipuu.fi/suoritustasoilmoitukset/A040a.pdf> Hämtad 21.4.2015

Meteorologiska Institutet. Graddagar Tillgängligt: <http://sv.ilmatieteenlaitos.fi/graddagar> Hämtad 2.5.2015

Miljöministeriet. 2002. *C4: Miljöministeriets förordning om värmeisolering.* Tillgänglig: <http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4r.pdf> Hämtad 4.5.2015

Miljöministeriet. 2012. *D5: Beräkning av byggnaders energiförbrukning och effektbehov för uppvärmning.* Tillgänglig: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BBEE8AD7A-18BD-4D58-B4F4-CC66FB4E1A47%7D/40472> Hämtad 4.5.2015

Motiva. 2012. *Pientalojen lämmitysjärjestelmät.* Tillgänglig:
http://www.motiva.fi/files/7201/Pientalon_lammitysjarjestelmat_2012.pdf Hämtad
19.4.2015

Motiva. 2010. *Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästökertoimet.* Tillgänglig:
[http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksi](http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energiahinnat_19042010.pdf)
[din_ominaispaastokertoimet_seka_energiahinnat_19042010.pdf](http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energiahinnat_19042010.pdf). Hämtad 28.3.2015

Motiva. 2012. *Yhteenvedojen CO₂ päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet.* Tillgänglig: [http://www.motiva.fi/files/8887/CO₂-laskentaohje_Yhteenvedot.pdf](http://www.motiva.fi/files/8887/CO2-laskentaohje_Yhteenvedot.pdf) Hämtad: 19.4.2015

Otto. Dr. *Privat konversation.* Intervjuad av Mikael Paronen.

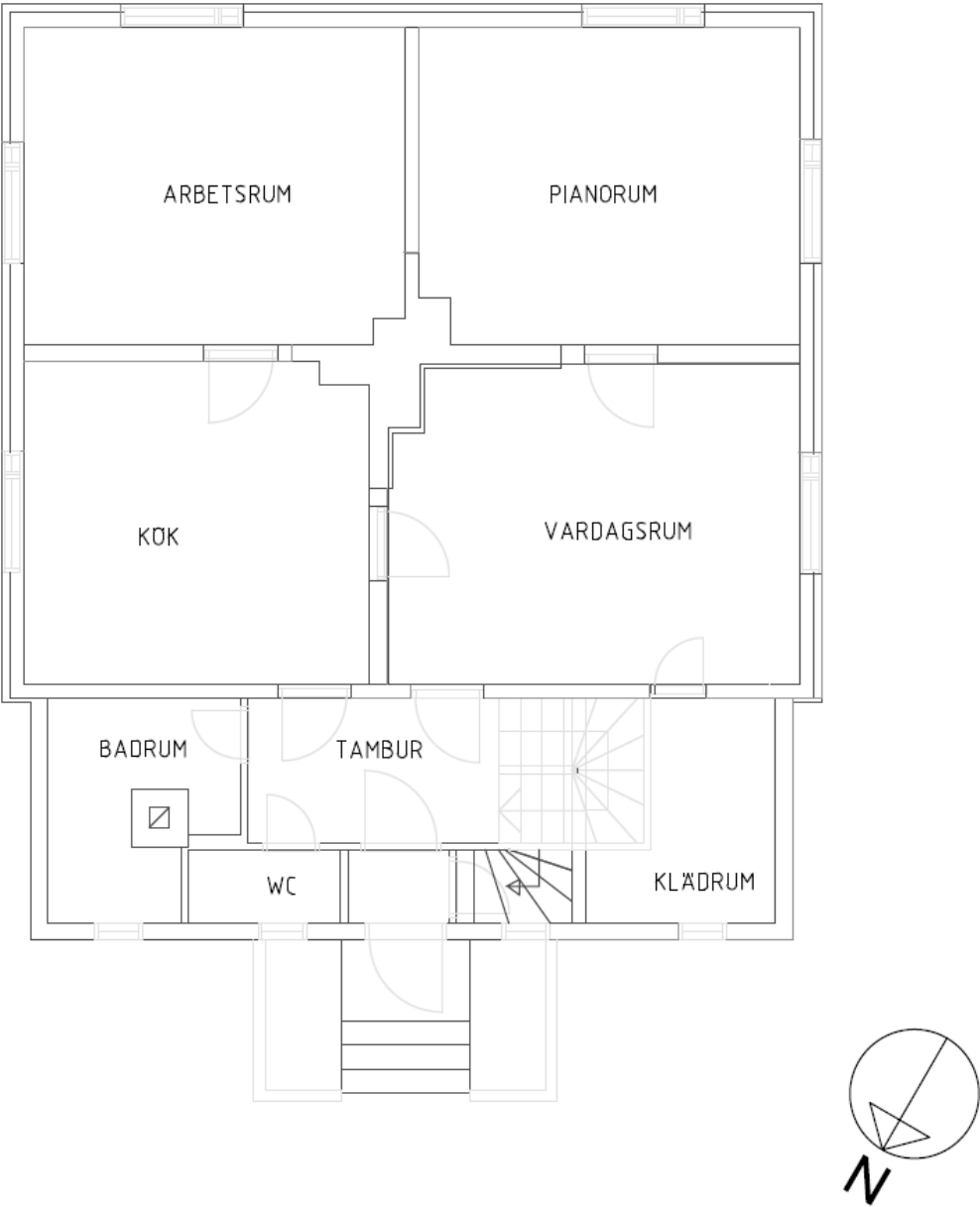
taloon.com. Tillgänglig: <http://www.smartia.fi/PublishedService?pageID=9&itemcode=60723> Hämtad:
23.4.2015

taloon.com. Tillgänglig: [http://www.taloon.com/paroc-extra-xs-vuorivilla-](http://www.taloon.com/paroc-extra-xs-vuorivilla-50x565x1170-6-61m2/JJ-36-56gjt/dp?openGroup=267)
[50x565x1170-6-61m2/JJ-36-56gjt/dp?openGroup=267](http://www.taloon.com/paroc-extra-xs-vuorivilla-50x565x1170-6-61m2/JJ-36-56gjt/dp?openGroup=267) Hämtad 23.4.2015

ympäristö.fi. Tillgänglig: [http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BAC7A25CB-](http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BAC7A25CB-AE7E-4869-8884-1AE74D3FE2DE%7D/100058)
[AE7E-4869-8884-1AE74D3FE2DE%7D/100058](http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BAC7A25CB-AE7E-4869-8884-1AE74D3FE2DE%7D/100058) Hämtad 21.4.2015

Ympäristöministeriö. 2011. *Tasauslaskentaopas 2012.* Tillgänglig:
[http://www.ym.fi/download/noname/%7B4A826B40-9B82-4749-B6BA-](http://www.ym.fi/download/noname/%7B4A826B40-9B82-4749-B6BA-7A3537EA9DAE%7D/40514)
[7A3537EA9DAE%7D/40514](http://www.ym.fi/download/noname/%7B4A826B40-9B82-4749-B6BA-7A3537EA9DAE%7D/40514) Hämtad 19.4.2015

Bilaga 1



Bilaga 2

